

基于时空和风险物视角的辣椒安全风险分级模型研究

王芳^{1,2}, 孙晓红², 林长松³, 陶光灿^{1,2*}, 胡康^{4*}

¹ 贵阳学院 生物与环境工程学院 贵阳 550014

² 贵州医科大学公共卫生与健康学院 环境污染与疾病监控教育部重点实验室 贵阳 550025

³ 贵州理工学院 贵阳 550003

⁴ 中国食品药品检定研究院 北京 102629)

摘要 目的:确定辣椒中危害物的风险等级,并结合时空视角剖析辣椒中危害物的不合格情况,得出辣椒中风险等级高的危害物,对高效监管辣椒安全提出意见。方法:为评估辣椒中风险物风险值,本文采用熵值法计算风险大小,并利用二八原则,对风险大小进行等级排序。为对辣椒风险物进行时空分析,利用描述性统计方法进行统计描述,利用全局与局部自相关分析方法分析辣椒中危害物风险等级高以及较高风险物的全国空间分布规律。结果:辣椒中镉、铅、铬、硫丹、克百威和久效磷是高风险物质。2016—2020年,全国辣椒不合格率变化趋势稳定,其中湖北省辣椒不合格率最高,抽样场所中辣椒不合格率主要发生在超市和农贸市场。结论:辣椒风险物分级结果,可提高政府监管效率,同时为企业自我管理提供参考。

关键词 辣椒; 风险分级; 时空分析; 模型

文章编号 1009-7848(2023)11-0372-11 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2023.11.035

辣椒,又名海椒、番椒、辣子,属茄科辣椒属^[1]。辣椒中富含辣椒素,它是辣椒中的辛辣成分,具有广泛的活性作用,包括抗癌、抗菌、止痛及降血糖^[2-5]等,因此辣椒在食品、医药、农业等方面都得到广泛的应用^[6-7]。辣椒是中国最重要的蔬菜及其调味品^[8]。目前,辣椒无论是生产还是消费方面,中国都处于世界第一^[9]。

辣椒从种植、生产、流通到餐饮环节都会接触到各种风险,包括食品添加剂超标、微生物污染、掺假掺杂、添加非食用物质、农药残留、重金属污染及塑化剂污染等^[10]。原料环节的风险主要来源于种植和储运过程;土壤中重金属主要来源于岩石及土壤本底、污水灌溉、农业投入品,辣椒对重金属的富集能力较强,种植过程中重金属迁移至辣椒中,进而导致辣椒中重金属污染;种植过程中,为预防病虫害而施用农药,而部分种植者为

了品相和产量会大量使用农药,导致辣椒中农药残留超标^[11]。储运过程中,由于储运环境不合格,导致有害微生物生长,进而污染辣椒。加工环节中,为防止辣椒发生霉变,保证辣椒品质,改善辣椒色泽会使用食品添加剂,加工人员未按规定使用防腐剂或操作不当可能会造成防腐剂超标;企业为保证辣椒色泽、辣椒品相会违规使用非食用物质,其中包括苏丹红、罗丹明 B、碱性嫩黄、碱性橙、酸性橙 II、酸性金黄等^[12-13]。在辣椒包装过程中会使用塑料制品,塑料制品中的塑化剂会迁移至辣椒,造成辣椒中塑化剂污染^[10]。加工过程中由于环境卫生不达标,也会造成有害微生物污染。2020年中国辣椒年产量达到 1 960 万 t,出口量位居全球第二^[14]。保证辣椒质量安全显得尤为重要,这需要一定的人力和物力。为节约监管资源,提高监管效率,可将风险分级应用于辣椒安全监管中^[15]。

本研究选择国家监督抽检数据项目中的检出率、不合格率、合格程度和严重程度作为综合判断辣椒风险的指标。熵值法常用来评价指标的权重,本研究利用该方法评价 4 个指标的权重值并计算辣椒的风险值,同时结合时空分析,探明辣椒中高风险物质的演化规律,为提高辣椒安全风险治理提供理论支撑。

收稿日期: 2022-11-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1603300);贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2022]一般 243);贵州省科技计划项目(黔科合平台人才-CXTD[2022]002)

第一作者: 王芳,女,硕士生

通信作者: 陶光灿 E-mail: tgcan@126.com

胡康 E-mail: hukang@nifdc.org.cn

1 材料与方法

1.1 数据来源与指标选择

本研究数据来源于国家市场监督管理总局和各省、自治区、直辖市和新疆生产建设兵团市场监管局。2016—2020年辣椒监督抽检的数据,数据包括被抽样单位、抽样场所、被抽样地区、区域类型、检验项目、检验结果、结果判定、检验依据等84项内容。根据研究目的,对84项辣椒数据内容进行整理,最终保留抽样场所、被抽样地区、抽样时间、抽样环节、被抽样单位区域类型、检验项目、抽样结果和抽样结果判定8项内容。研究利用熵值法来判断不合格率、风险物质合格程度、检出率和严重程度4个指标的权重,并计算各个风险物的风险大小。

1.2 分析方法

研究采用熵值法计算辣椒中风险物的风险值大小,为对风险值进行等级排序将利用二八原则,本研究为探讨辣椒中高风险物的时空演变规律,

将采用描述性统计方法进行统计描述,还将利用空间自相关分析方法探索辣椒中风险等级高以及较高风险物的全国空间分布规律^[6]。

1.3 统计软件

研究将使用 Excel 2019、Geoda1.12.1.179 软件 Arcgis10.2 和 Origin 2021 软件进行数据分析和制图。

2 结果与分析

2.1 辣椒中风险物质检出情况分析

利用 Excel 2019 对 2016—2020 年的辣椒监督抽检数据进行清洗、去重等处理,最终得到 133 365 个样本有效数据,抽检内容包括 56 种农药和 5 种重金属两类物质。利用熵值法计算辣椒中各个风险物质的不合格率、检出率、合格程度和严重程度权重;根据权重值,计算各个风险物综合风险值(见表 1)。

表 1 辣椒中风险物的风险值

Table 1 Risk value of risk items in chili peppers

风险物	不合格率/%	检出率/%	合格程度	严重程度	风险值
2,4-滴	0.00	0.46	0.87	3	0.11
百草枯	0.00	6.13	0.20	3	0.06
百菌清	0.00	3.02	0.95	3	0.13
倍硫磷	0.00	0.28	0.23	3	0.04
苯氟磺胺	0.00	0.84	0.96	1	0.11
吡唑醚菌酯	0.00	13.59	0.04	2	0.07
丙溴磷	0.05	5.90	0.21	2	0.11
虫酰肼	0.00	0.90	0.91	2	0.11
哒螨灵	0.00	9.71	0.92	3	0.16
代森锰锌	0.00	3.90	0.67	2	0.10
滴滴涕	0.00	3.66	0.90	3	0.13
敌百虫	0.00	1.57	0.15	3	0.04
敌敌畏	0.00	10.45	0.51	3	0.12
多菌灵	0.04	16.54	0.01	2	0.12
二氟苄醌	0.00	1.39	0.68	3	0.10
氟虫腈	0.09	0.83	0.11	3	0.11
氟氯氰菊酯	0.00	2.00	0.83	3	0.11
氟氯戊菊酯	0.00	2.29	0.96	3	0.13
氟酰胺	0.00	0.74	0.99	3	0.13
腐霉利	0.00	10.04	0.08	2	0.06
甲胺磷	0.00	0.05	0.88	4	0.12
甲霜灵	0.00	2.91	0.27	2	0.05
甲基硫菌灵	0.00	0.31	0.04	2	0.01

(续表 1)

风险物	不合格率/%	检出率/%	合格程度	严重程度	风险值
甲基异柳磷	0.00	2.37	0.00	4	0.03
甲萘威	0.00	9.15	0.10	3	0.03
久效磷	0.10	0.10	1.00	4	0.23
抗蚜威	0.00	0.23	0.99	2	0.12
克百威	0.28	1.63	0.20	4	0.32
乐果	0.00	0.41	0.60	3	0.08
联苯菊酯	0.00	7.94	0.04	3	0.06
硫丹	0.43	0.43	1.00	4	0.55
硫线磷	0.00	0.16	0.99	4	0.13
六六六	0.00	3.86	0.70	3	0.11
氯丹	0.00	3.20	0.51	4	0.09
氯氟氰菊酯	0.00	6.52	0.15	3	0.06
氯菊酯	0.00	3.42	0.10	2	0.03
氯氟菊酯	0.00	6.74	0.00	3	0.05
氯唑磷	0.04	1.54	0.00	5	0.08
马拉硫磷	0.00	0.51	0.81	4	0.11
咪鲜胺	0.04	4.15	0.50	3	0.13
灭多威	0.00	0.70	0.11	4	0.04
内吸磷	0.00	0.28	0.87	5	0.13
七氯	0.00	3.23	0.51	5	0.10
氟戊菊酯	0.00	2.46	0.51	2	0.07
三唑醇	0.00	1.47	0.73	2	0.09
三唑酮	0.00	2.60	0.84	2	0.11
杀扑磷	0.00	0.16	0.20	4	0.05
水胺硫磷	0.05	0.22	0.05	4	0.08
五氯硝基苯	0.00	2.25	0.44	3	0.07
烯酰吗啉	0.00	9.78	0.86	2	0.14
辛硫磷	0.00	0.83	0.50	3	0.07
溴氟菊酯	0.00	2.55	0.50	3	0.08
氧乐果	0.21	0.42	0.00	4	0.23
乙烯利	0.00	5.98	0.40	2	0.08
增效醚	0.00	0.85	0.10	2	0.12
啮螨酯	0.00	0.78	0.70	3	0.09
汞	0.00	14.71	0.00	4	0.09
砷	0.00	26.66	0.58	5	0.21
铅	0.14	29.20	0.00	3	0.28
镉	0.61	61.51	0.00	3	0.88
铬	0.00	51.99	0.00	2	0.24
权重	0.58	0.28	0.11	0.03	

利用二八原则^[7],对辣椒风险物质风险值进行分级排序,分为低、较低、中、较高和高风险 5 个等级,区间分别为[0,10%分位数)、[10%分位数,40%分位数)、[40%分位数,70%分位数)、[70%分位数,90%分位数)和[90%分位数,100%分位数],

具体风险等级的范围见表 2。

根据上述分级方法,辣椒风险物分级结果见表 3。风险物中,镉、硫丹、克百威、铅、铬和久效磷是高风险物;氧乐果、砷、啮螨灵、烯酰吗啉、百菌清、硫线磷、滴滴涕、氟氰戊菊酯、咪鲜胺、氟酰胺、

表 2 风险分级数值范围表

Table 2 The numerical range table of risk ranking

风险等级	数值
范围	[0.88,0.01)
低风险[0,10%分位数)	[0.01,0.04)
较低风险 [10%分位数,40%分位数)	[0.04,0.09)
中风险[40%分位数,70%分位数)	[0.09,0.12)
较高风险[70%分位数,90%分位数)	[0.12,0.23)
高风险[90%分位数,100%分位数]	[0.23,0.88]

内吸磷和增效醚是较高风险物;敌敌畏、甲胺磷、多菌灵、抗蚜威、氟虫腈、氟氯氰菊酯、马拉硫磷、2,4-滴、三唑酮、虫酰肼、六六六、丙溴磷、苯氟磺胺、七氯、代森锰锌、二氰蒽醌、唑螨酯、三唑醇和氯丹是中风险物;汞、乐果、溴氰菊酯、水胺硫磷、氯唑磷、乙烯利、五氯硝基苯、氰戊菊酯、吡唑醚菌酯、辛硫磷、百草枯、腐霉利、氯氟氰菊酯、联苯菊酯、甲霜灵、氯氰菊酯、杀扑磷、倍硫磷和敌百虫是较低风险物;灭多威、氯菊酯、甲基异柳磷、甲萘威和甲基硫菌灵是极低风险物。

表 3 辣椒中风险物风险分级结果表

Table 3 The results table of risk ranking for risk substance in chili pepper

风险物	风险等级	风险物	风险等级
镉	高	七氯	中
硫丹	高	代森锰锌	中
克百威	高	二氰蒽醌	中
铅	高	唑螨酯	中
铬	高	三唑醇	中
久效磷	高	氯丹	中
氧乐果	较高	汞	较低
砷	较高	乐果	较低
哒螨灵	较高	溴氰菊酯	较低
烯酰吗啉	较高	水胺硫磷	较低
百菌清	较高	氯唑磷	较低
硫线磷	较高	乙烯利	较低
滴滴涕	较高	五氯硝基苯	较低
氟氯戊菊酯	较高	氰戊菊酯	较低
咪鲜胺	较高	吡唑醚菌酯	较低
氟酰胺	较高	辛硫磷	较低
内吸磷	较高	百草枯	较低
增效醚	较高	腐霉利	较低
敌敌畏	中	氯氟氰菊酯	较低
甲胺磷	中	联苯菊酯	较低
多菌灵	中	甲霜灵	较低
抗蚜威	中	氯氰菊酯	较低
氟虫腈	中	杀扑磷	较低
氟氯氰菊酯	中	倍硫磷	较低
马拉硫磷	中	敌百虫	较低
2,4-滴	中	灭多威	极低
三唑酮	中	氯菊酯	极低
虫酰肼	中	甲基异柳磷	极低
六六六	中	甲萘威	极低
丙溴磷	中	甲基硫菌灵	极低
苯氟磺胺	中		

进一步分析发现,辣椒中风险物不合格项目主要包括重金属和农药(见图 1),分别占 57.50%

和 42.50%。重金属风险物不合格项目包括镉和铅,分别占 82.35%和 17.65%;农药风险物不合格

项目包括克百威、氧乐果、硫丹、氟虫腈、丙溴磷、多菌灵、氯唑磷、咪鲜胺和水胺硫磷,分别占34.78%,26.09%,8.70%,8.70%,4.35%,4.35%,4.35%,4.35%和4.35%(见图2)。

综上所述,既是较高风险以上,又是不合格项目常出现的风险物中,重金属重点关注镉和铅,农药关注克百威、氧乐果、硫丹和咪鲜胺。

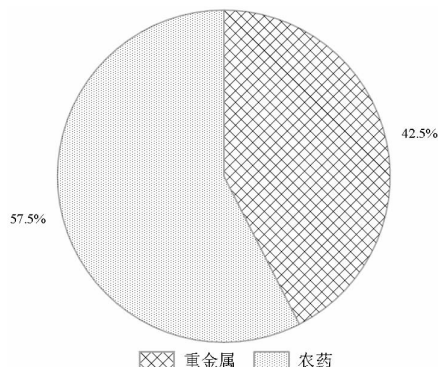


图1 辣椒不合格项目类别分布情况

Fig.1 Distribution of unqualified project categories of chili pepper

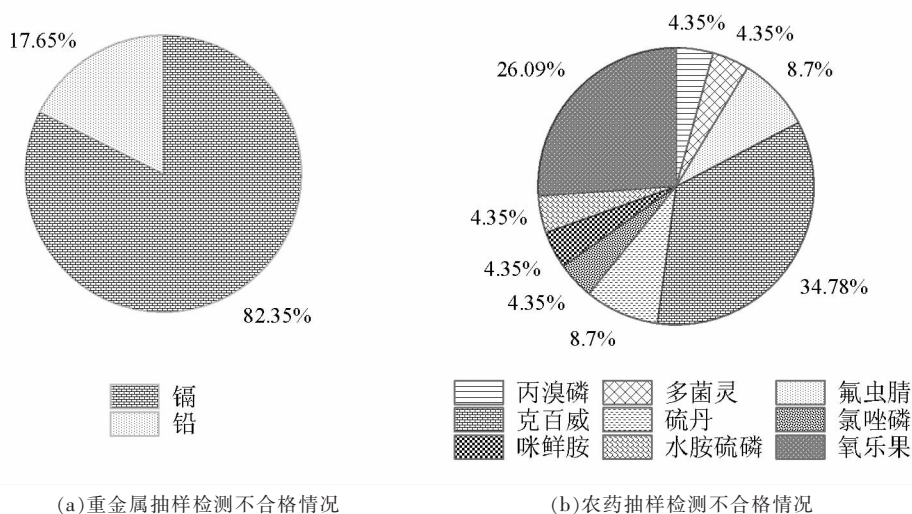


图2 2016—2020年中国辣椒抽样检测不合格项目种类分布情况

Fig.2 Distribution of the types of unqualified project in chili pepper sampling test in 2016—2020

2.2 辣椒风险物质的时间分布

对2016—2020辣椒抽检情况进行时间分析,辣椒不合格情况每年都会出现(见表4),但不合

格率波动较小,除了2018年和2019年略高于年平均不合格率外,其余年份均低于或等于年平均不合格率,说明辣椒质量安全总体呈现良好趋势。

表4 2016—2020年辣椒抽检情况表

Table 4 The chili pepper sampling status in 2016—2020

抽检年份	抽检总批次	不合格批次	不合格率/%
2016	23 059	7	0.030
2017	33 599	5	0.015
2018	14 541	13	0.089
2019	17 373	14	0.081
2020	44 793	1	0.002
合计	133 365	40	0.030

2.2.1 重金属超标时间演变规律 重金属不合格主要包括镉和铅。2016—2019 年,镉不合格率呈上升趋势,从 0.33%上升到 1.31%,2020 年镉的不合格率降至 0;2016—2020 年,铅的不合格率呈下降趋势,从 0.52%下降至 0%,2017 年和 2018 年铅的不合格率都为 0,而 2019 年辣椒中再次出现铅不合格情况,即使铅不合格率为 0,依然需要进一步关注。

2.2.2 农药残留超标时间变化规律 辣椒中农药残留超标的项目主要有克百威、丙溴磷、多菌灵、氟虫腈、硫丹、氯唑磷、咪鲜胺、水胺硫磷和氧乐果。2016—2020 年间,丙溴磷、多菌灵、硫丹、氯唑磷、咪鲜胺和水胺硫磷不合格情况只是偶有发生,水胺硫磷和硫丹仅在 2016 年出现不合格情况,不

合格率为分别为 0.27%和 0.52%,丙溴磷在 2020 年出现不合格情况,不合格率为 0.38%,多菌灵、氯唑磷、和咪鲜胺只在 2018 年出现不合格情况,不合格率分别为 0.15%,0.2%和 0.15%;2016—2020 年,氟虫腈不合格情况发生在 2018 年和 2019 年,且不合格率呈下降趋势,从 0.15%降至 0.1%;2016—2020 年,克百威不合格率总体呈下降趋势,从 0.26%降至 0,2018 年达到最高,为 0.73%,而 2019 年开始下降;2016—2020 年,氧乐果不合格率总体也呈下降趋势,从 0.38%降至 0%。虽然农药总体不合格率呈下降趋势,但是每年辣椒都会出现农药超标情况,所以农药超标问题仍需关注。

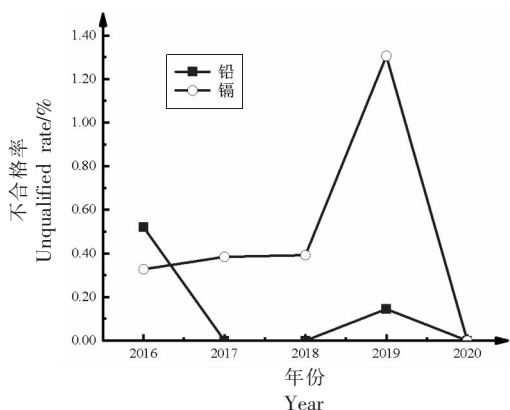


图 3 2016—2020 年中国辣椒中重金属不合格率变化趋势
Fig.3 The trend of unqualified rate of heavy metals of chili pepper in 2016—2020

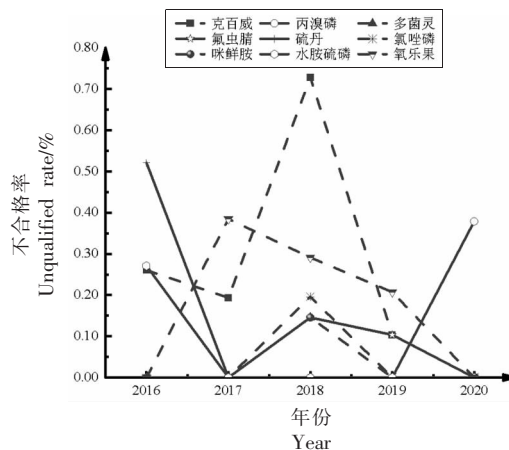


图 4 2016—2020 年中国辣椒中农药不合格率变化趋势
Fig.4 The trend of unqualified rate of pesticides of chili pepper in 2016—2020

2.3 辣椒风险物质的空间分布

对被抽样地区不合格样品数据进行分析,利用 arcgis 软件中 4 级相等间隔方法对各地区辣椒不合格率进行等级划定,发现湖北、西藏、山东和

上海不合格率较其它地区高,分别为 0.18%,0.14%,0.13%和 0.12%,其中湖北省辣椒不合格率是全国最高的地区,提示流入湖北市场的辣椒需要重点关注。

表 5 2016—2020 年中国辣椒不合格率抽样地区情况表

Table 5 Situation of sampling regions for unqualified rates of chili pepper at 2016—2020

级别	地区
[0.1019%, 0.1811%]	湖北、西藏、山东、上海
[0.0397%, 0.1018%]	广西、青海、云南、海南
[0.0147%, 0.0396%]	宁夏、福建、重庆、天津、浙江、江西、黑龙江
[0%, 0.0146%]	北京、广东、安徽、湖南、甘肃、贵州、河北、河南、吉林、江苏、辽宁、内蒙古、山西、陕西、四川、新疆

2.3.1 空间相关分析 根据表3风险分级结果,选择不合格风险物质中风险等级高和较高的风险物作为研究对象,包括镉、铅、硫丹、克百威、氧乐果、咪鲜胺,探讨这些风险物的空间分布规律。

2.3.1.1 空间自相关分析 对辣椒中镉、铅、硫丹、克百威、氧乐果、咪鲜胺风险物在全国各地的合格率进行整理,全国辣椒中,去除仅在浙江有不合格情况的发生的咪鲜胺,探讨多个地区辣椒中

镉、铅、克百威、硫丹和氧乐果的空间相关性,原假设 H_0 为全国各地区辣椒中某风险物合格率空间分布特征为随机分布。全国辣椒中镉、铅、克百威和氧乐果合格率的全局莫兰指数分别为-0.0452, -0.0534, -0.065, 0.0619, -0.0323 (见表6), P 值 (P -value) 均大于 0.05, 表明全国各地区辣椒中镉、铅、克百威和氧乐果合格率不存在全局空间自相关, 而可能存在局部空间相关性。

表6 2016—2020年中国辣椒中高风险物合格率全局空间自相关分析

Table 6 Global spatial autocorrelation analysis of the qualification rate of high-risk substances

in chili pepper from 2016 to 2020

风险物	全局莫兰值	全局莫兰期望值	Z值	P值	是否拒绝原假设 H_0
镉	-0.0452	-0.0333	-0.1189	0.495	否
铅	-0.0534	-0.0333	-0.2287	0.447	否
克百威	-0.0650	-0.0333	-0.3636	0.426	否
氧乐果	0.0619	-0.0333	1.0113	0.156	否
硫丹	-0.0323	-0.0333	0.0476	0.173	否

2.3.1.2 局部空间自相关分析 2016—2020 全国各地区辣椒中镉、铅、克百威、硫丹和氧乐果合格率局部空间自相关分析结果显示, 均未见高高集聚和低低集聚的现象(见表7), 高高集聚表示所研究位置大部分被高值包围, 低低集聚表示所研究位置大部分被低值包围。

2.3.2 抽样地点 辣椒抽样地点包括超市、批发市场、农贸市场、菜市场和其它地方, 辣椒不合格情况主要发生在超市和农贸市场(见图5), 均占35%; 其次为批发市场和菜市场, 分别占15%和12.5%。

表7 2016—2020年我国辣椒中高不合格风险物合格率局部空间自相关分析

Table 7 Local spatial autocorrelation analysis of qualified rates of high-risk substances in chili pepper in China from 2016 to 2020

风险物	地区	局部特征
镉	辽宁、湖北、上海、海南	低值-高值集聚
铅	福建、西藏	低值-高值集聚
	新疆、青海、四川、云南	高值-低值集聚
克百威	黑龙江、山东、湖南、福建	低值-高值集聚
硫丹	福建、宁夏	低值-高值集聚
	甘肃	高值-低值集聚
氧乐果	湖南	高值-低值集聚

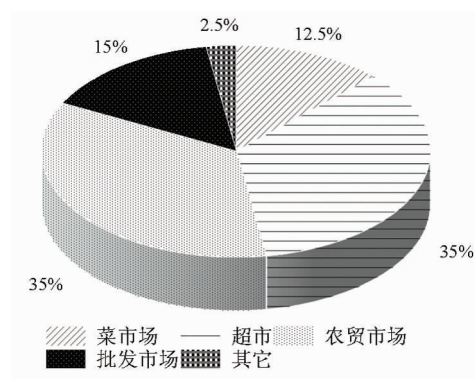


图5 2016—2020年中国辣椒抽样检测不合格产品抽样地点类型情况

Fig.5 The situation of sampling site types for unqualified products in chili pepper sampling test from 2016 to 2020

3 讨论与结论

本研究中, 辣椒中的高风险物质包括镉、硫

丹、克百威、铅、铬和久效磷。有研究对镉生态风险进行初步评价, 加之辣椒对镉的富集能力很强^[18],

认为镉在辣椒中属于风险高的物质^[19],此结果与本文研究结果是相符的。胡毅等^[20]对辣椒中农药残留进行风险排序,农药残留中硫丹是高风险,与本研究结果相符,说明本研究的分级模型有一定的可信度。据本文研究结果,对辣椒中的重金属应关注镉、铅、铬和砷 4 种风险物质。目前,我国辣椒中的残留农药主要包括有机氯类农药、有机磷类农药、氨基甲酸酯类农药和拟除虫菊酯类农药^[21],其中有机氯类农药和有机磷类农药大部分被禁用,然而,在现实情况下被禁用的农药仍有检出。结合本研究结果,建议关注硫丹、克百威、久效磷、氧乐果、哒螨灵、烯酰吗啉、百菌清、硫线磷、滴滴涕、氟氰戊菊酯、咪鲜胺、氟酰胺、内吸磷和增效醚的风险。

对辣椒中不合格风险物进行时间分析,辣椒中重金属不合格情况每年都会发生,其中以镉不合格为主,其次是铅。辣椒对重金属的富集能力较强,以镉富集能力最强^[22]。辣椒中的镉主要来源于土壤,土壤中的镉来源复杂,包括在种植过程中使用带金属镉农药和化肥,比如磷肥,生产磷肥的磷矿石中含有重金属铬^[23],被镉污染的大气随雨水沉降至土壤中,使用废水灌溉等途径。镉具有生物蓄积性强、毒性持久等特点,摄入过量的镉会危害生物体,甚至引起生物体致畸、致癌、致突变^[24]。2016—2019 年,镉的不合格率呈上升趋势;2016—2020 年,重金属以镉不合格为主,降低辣椒中镉不合格率显得尤其重要。在辣椒种植过程中可以通过调节土壤 pH 值、土壤阳离子交换量、有机质含量、CaCO₃ 含量、质地等因素来降低镉活性,从而抑制其从土壤转移到辣椒作物中,还可通过喷施硒、磷、锌等物质抑制辣椒对镉的吸收或转移^[25],合理施用磷肥;2016—2020 年铅的不合格情况偶有发生,人体摄入过量的铅会影响造血、免疫和神经等系统^[26]。辣椒中的铅来源包括使用含铅农药和化肥导致土壤中的铅蓄积,含铅大气沉降至土壤中导致铅迁移至辣椒中^[27]。降低铅不合格率可通过降低铅排放量实现^[28],同时要遵守国家要求禁止施用含铅农药^[29],以保障辣椒的安全生产。

2019 年农业农村部发布《禁限用农药名录》^[29],含禁用农药 46 种,部分范围禁止使用的农药涉及

辣椒的有 17 种。每年都有辣椒农药超标情况,结合本研究结果得出其原因包括:1) 施药人员误用国家禁止在辣椒中使用的高残留农药,包括克百威、硫丹、氯唑磷、氧乐果和水胺硫磷等;2) 施药人员对农药知识缺乏,尤其农药用药间隔规律和残留量知识的缺乏,造成不能正确控制农药用量,致可使用的农药超标^[30];3) 手动喷洒农药是农民种植辣椒过程中最主要的施药方式,这种施药方式导致“跑、冒、滴、漏”现象严重,无法正确把握农药的使用量,进而导致辣椒种植过程农药超标;4) 高毒、高残留农药因成本低廉常作为生产商首选,而高毒、高残留的农药易导致辣椒中农药超标;5) 政府监管惩罚力度不够,监管体系不全面,多个政府部门管理,各部门标准不一,导致管理混乱,效率低下^[31]。为降低辣椒中农药超标现象,在辣椒种植过程中可选择风送式静电喷雾技术等先进技术作为农药的施药方式。企业或政府可举办农药相关专业知识的培训,以提高农民农药施用的知识,引导其选择低毒、低残留、易降解的农药,督导其杜绝使用克百威、硫丹、氯唑磷、氧乐果和水胺硫磷等国家禁止使用的农药,同时在施药过程中注意丙溴磷、多菌灵、氟虫腈和咪鲜胺等农药的施用量。统一的管理标准和完善的监管制度是保障辣椒质量安全的基石,政府需加强这方面的统筹,同时加大对违规相关人员的处罚力度^[32]。

从空间上分析辣椒不合格率结果,全国需重点关注流入湖北、西藏、山东和上海 4 个地区的辣椒质量安全。抽样场所需要重点关注超市和农贸市场辣椒质量的安全情况。因本研究数据来自市场监管部门,该部门主要对流通环节食品进行监督抽检,抽检数据涉及生产环节较少,故未将生产环节纳入对比研究。

辣椒风险在各生产流通环节都存在,而每个风险的等级不同,可借助国家每年抽样检测数据来计算辣椒风险物风险值,利用二八原则确定辣椒风险的风险等级,制定每年风险分级表。根据分级表抓住下年度监管工作的重点,进行更高效、更有针对性的管理。企业也可通过辣椒危害物风险分级结果,高效管理,确保辣椒产品质量安全。

本研究依据 2016—2020 年市场监管部门辣椒监督抽检数据进行风险分级,缺乏生产环节的

数据,未形成原料、生产、流通到餐饮环节全产业链条的分析结果。在今后的研究中,应整合农业、卫生、海关等政府部门监督抽检的数据,加强全产业链条的风险分级研究。需要特别说明的是,本研究主要利用不合格率、检出率、严重程度和合格程度进行风险评价,存在一定的局限性。风险分级还应考虑其它静态、动态的指标^[15],借助大数据技术,集成风险分级涉及的时间、空间、主体的数据,加强数据的开放共享和分析应用,提高食品安全分级管理的靶向性和时效性^[15]。

参 考 文 献

- [1] 蓬桂华, 张爱民, 苏丹, 等. 93份贵州地方辣椒资源品质性状分析[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(3): 429-435.
PENG G H, ZHANG A M, SU D, et al. Analysis on quality characters of 93 Guizhou local pepper germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(3): 429-435.
- [2] AZLAN A, SULTANA S, HUEIC S, et al. Antioxidant, anti-obesity, nutritional and other beneficial effects of different chili pepper: A review [J]. Molecules, 2022, 27(3): 898.
- [3] GUPTA R, KAPOOR B, GULATI M, et al. Sweet pepper and its principle constituent capsiate: Functional properties and health benefits[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(26): 1-25.
- [4] AMINI M R, TALEBYAN A, PAYANDCH N, et al. The effects of capsinoids and fermented red pepper paste supplementation on glycaemic control: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials[J]. International Journal of Clinical Practice, 2021, 75(12): e14803.
- [5] CHILCZUK B, MARCINIAK B, KONTEK R, et al. Diversity of the chemical profile and biological activity of *Capsicum annuum* L. extracts in relation to their lipophilicity [J]. Molecules, 2021, 26(17): 5215.
- [6] 崔桂娟, 谢秋涛, 张群, 等. 辣椒中辣椒素提取方法与应用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(13): 306-310.
CUI G J, XIE Q T, ZHANG Q, et al. Extraction methods and application of aapsaicin in pepper[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(13): 306-310.
- [7] 张世奇, 唐兰兰, 孙劲毅, 等. 辣椒素降糖作用及其机制研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(13): 262-269.
ZHANG S Q, TANG L L, SUN J Y, et al. Research progress on hypoglycemic effect and mechanism of capsaicin[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(13): 262-269.
- [8] 邹学校, 马艳青, 戴雄泽, 等. 辣椒在中国的传播与产业发展[J]. 园艺学报, 2020, 47(9): 1715-1726.
ZOU X X, MA Y Q, DAI X Z, et al. Spread and industry development of pepper in China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2020, 47(9): 1715-1726.
- [9] 王立浩, 刘伟, 张宝玺. 我国辣椒种业科技发展现状、挑战及其思考[J]. 辣椒杂志, 2016, 14(3): 1-6.
WANG L H, LIU W, ZHANG B X. Opportunities and challenges of science and technology development of *Capsicum* seed industry in China[J]. Journal of China Capsicum, 2016, 14(3): 1-6.
- [10] 何攀, 邓洁红, 吴海智, 等. 辣椒制品质量风险分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4591-4597.
HE P, DENG J H, WU H Z, et al. Risk analysis on potential quality problems of pepper products[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2015, 6(11): 4591-4597.
- [11] LI C J, ZHU H M, LI C Y, et al. The present situation of pesticide residues in China and their removal and transformation during food processing[J]. Food Chemistry, 2021, 354(2): 129552.
- [12] 冯华, 王样培, 王世俊, 等. 辣椒粉中非法添加苏丹红色素快速检验分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(13): 3421-3426.
FENG H, WANG Y P, WANG S J, et al. Rapid test and analysis of Sudan red illegally added into *Capsicum annuum* L.[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(13): 3421-3426.
- [13] 薛昆鹏, 金小青, 余冲, 等. 固相萃取-高效液相色谱-荧光法测定辣椒制品中罗丹明B[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(6): 2375-2380.
XUE K P, JIN X Q, YU C, et al. Determination of rhodamine B in pepper products by solid phase extraction-high performance liquid chromatography-

- fluorescence detector[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2016, 7(6): 2375-2380.
- [14] 熊德斌, 张成功. 我国辣椒出口价格与出口量的周期特征及趋势预测[J]. *价格理论与实践*, 2021(5): 89-92, 194.
- XIONG D B, ZHANG C G. The periodic characteristics and trend forecast of China's chili export price and export volume [J]. *Price: Theory & Practice*, 2021(5): 89-92, 194.
- [15] 王芳, 孙晓红, 陶光灿. 中国食品安全风险分级研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(21): 271-277.
- WANG F, SUN X H, TAO G C. Progress in risk ranking for food safety in China[J]. *Food Science*, 2021, 42(21): 271-277.
- [16] 王芳, 孙晓红, 林长松, 等. 基于时空与风险物视角的茶叶风险分级模型的构建[J]. *食品安全质量检测学报*. 2022, 13(13): 4098-4106.
- WANG F, SUN X H, LIN C S, et al. Establishment of tea risk rank model based on the perspective of time, space and risk substances[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2022, 13(13): 4098-4106.
- [17] 邹强, 王涛, 瞿进, 等. 白酒中潜在风险物质分级研究[J]. *酿酒*, 2018, 45(2): 35-38.
- ZOU Q, WANG T, QU J, et al. Research on potential hazards risk classification model in Chinese Baijiu[J]. *Liquor Making*, 2018, 45(2): 35-38.
- [18] 许华杰, 谭红, 谢锋, 等. 贵州省菜地土壤和蔬菜中镉含量的分析与研究[J]. *农业环境科学学报*, 2007(S2): 674-678.
- XU H J, TAN H, XIE F, et al. Cadmium contents in vegetables and soils in Guizhou province[J]. *Journal of Agro Environment Science*, 2007(S2): 674-678.
- [19] 张爱民, 岳延滨, 王永平, 等. 辣椒土壤中Cd形态分布及其生态风险评价[J]. *贵州农业科学*, 2015, 43(10): 131-135.
- ZHANG A M, YUE Y B, WANG Y P, et al. Form distribution and ecological risk evaluation of Cd in pepper soil[J]. *Guizhou Agricultural Science*, 2015, 43(10): 131-135.
- [20] 胡毅, 王微, 兰吉玉, 等. 黔东南州辣椒农药残留膳食摄入风险评估[J]. *世界农药*, 2021, 43(9): 49-56.
- HU Y, WANG W, LAN J Y, et al. Dietary intake risk assessment of pepper pesticide residues in Qiandongnan Prefecture [J]. *World Pesticide*, 2021, 43(9): 49-56.
- [21] 曹琦, 张亚珍, 朱正伟, 等. 气相色谱-四极杆/飞行时间质谱筛查确证辣椒中244种农药残留及其代谢物[J]. *色谱*, 2021, 39(5): 494-509.
- CAO Q, ZHANG Y Z, ZHU Z W, et al. Screening and confirmation of 244 pesticide residues in chilli by gas chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry[J]. *Chinese Journal of Chromatography*, 2021, 39(5): 494-509.
- [22] 姚杰, 王泽兰, 杨婷, 等. 基于体外消化实验评估辣椒中常见金属元素的膳食健康风险[J]. *环境与职业医学*, 2021, 38(12): 1363-1369.
- YAO J, WANG Z L, YANG T, et al. Evaluation of dietary health risks of metals in peppers based on physiologically based extraction test[J]. *Journal of Environmental and Occupational Medicine*, 2021, 38(12): 1363-1369.
- [23] 庞荣丽, 王瑞萍, 谢汉忠, 等. 农业土壤中镉污染现状及污染途径分析[J]. *天津农业科学*, 2016, 22(12): 87-91.
- PANG R L, WANG R P, XIE H Z, et al. Analysis of cadmium pollution in agricultural soils and analysis of its aay of pollution[J]. *Tianjin Argricultural Sciences*, 2016, 22(12): 87-91.
- [24] 杜丽娜, 余若祯, 王海燕, 等. 重金属镉污染及其毒性研究进展[J]. *环境与健康杂志*, 2013, 30(2): 167-174.
- DU L N, YU R Z, WANG H Y, et al. Pollution and toxicity of cadmium: A review of recent studies [J]. *J Environ Health*, 2013, 30(2): 167-174.
- [25] 谈敏, 高海军, 陈相波, 等. 辣椒吸收富集镉研究进展[J]. *长江蔬菜*, 2020(8): 45-48.
- TAN M, GAO H B, CHEN X B, et al. Progress of cadmium absorption and enrichment in pepper [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2020(8): 45-48.
- [26] KUMAR A, KUMAR A, CABRAL-PINTO M M S, et al. Lead toxicity: Health hazards, influence on food chain, and sustainable remediation approaches [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(7): 2179.
- [27] SHI J X, XU Q, ZHOU Z, et al. Controlling factors and prediction of lead uptake and accumulation in various soil-pepper systems [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2021, 40(5): 1443-1451.
- [28] 曾庆庆, 付天岭, 邹洪琴, 等. 贵州省某县辣椒种植区土壤重金属空间分布特征及来源解析[J]. *农业*

- 环境科学学报, 2021, 40(1): 102-113.
- ZENG Q Q, FU T L, ZOU H Q, et al. Spatial distribution characteristics and sources of heavy metals in soil in a pepper growing area of county in Guizhou Province, China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2021, 40(1): 102-113.
- [29] 中华人民共和国农业农村部. 禁限用农药名录[EB/OL]. (2019-11-29)[2022-10-22]. http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/201911/t20191129_6332604.htm. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. List of forbidden and restricted pesticides[EB/OL]. (2019-11-29)[2022-10-22]. http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/201911/t20191129_6332604.htm.
- [30] XU W, SUN T. Risk assessment and analysis of harmful residues in edible agricultural products in China—take Anhui Province as an example[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(39): 54317-54338.
- [31] 刘鹏举, 马云倩, 郭燕枝. 中国农产品农药残留现状及其对出口贸易的影响[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(11): 8-14.
- LIU P J, MA Y Q, GUO Y Z. Current situation of pesticide residues in China's agricultural products and its impact on export trade[J]. Journal Agricultural Science Technology, 2017, 19(11): 8-14.
- [32] 张秀玲. 中国农产品农药残留成因与影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- ZHANG X L. Studies on the causes and impact of China's agricultural pesticide residues [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.

Studies on Safety Risk Classification Grading Model for Chili Pepper Based on Time, Space and Risk Substances

Wang Fang^{1,2}, Sun Xiaohong², Lin Changsong³, Tao Guangcan^{1,2*}, Hu Kang^{4*}

¹College of Biological and Environmental Engineering, Guiyang University, Guiyang 550014

²School of Public Health, Guizhou Medical University, Key Laboratory of Environmental Pollution Monitoring and Disease Control, Ministry of Education, Guiyang 550025

³Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003

⁴National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 102629)

Abstract Objective: To ensure the risk level of hazardous substances in chili pepper, and analyze the unqualified situation of hazardous substances in chili pepper by combing spatial with temporal perspectives. Finally, by acquiring high-risk substances in chili pepper, and providing suggestions for efficient supervision of chili pepper safety. Methods: To evaluate the risk value of risk substances in chili pepper, the entropy method was used to calculate the risk level, and the 28 principles were used to classify and rank the risk level. In order to conduct spatiotemporal analysis of the risk substances in chili pepper, descriptive statistical methods were used for statistical description to conduct spatiotemporal analysis of the risks. Global and local autocorrelation analysis methods were used to analyze and explore the national spatial distribution patterns of high risk and high-risk substances in chili pepper. Results: Cadmium, lead, chromium, endosulfan, carbofuran and monocrotophos were high-risk substances in chili pepper; the overall change in the failure rate of chili pepper was stable from 2016—2020, and the failure rate of chili pepper in Hubei was the highest among the national provinces, and the failure of chili pepper in sampling places mainly occurs in supermarkets and farmers' markets. Conclusion: The classification results of chili pepper risk substances could improve the efficiency of government supervision, while providing a reference for enterprise self-regulation.

Keywords chili pepper; risk rank; spatio-temporal analysis; model